

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора физико-математических наук, Осипцова
Андрея Александровича на диссертацию Базырова Ильдара Шамилевича
«Контроль и регулирование роста техногенных трещин при вытеснении
нефти из низкопроницаемых коллекторов», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 –
Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений**

Актуальность темы диссертационной работы.

В диссертационной работе Базырова И.Ш. рассмотрена актуальная проблема организации эффективной системы заводнения в условиях развития трещин автоГРП. Трещины автоГРП определяют структуру фильтрационных потоков в элементах заводнения. Рост трещин автоГРП может привести к нежелательным последствиям в ходе разработки месторождения, таким как раннее обводнение добывающих скважин из-за прорыва трещины автоГРП от нагнетательной к добывающей скважине. Этот фактор может сильно снизить коэффициент охвата и коэффициент извлечения нефти на месторождении. Однако, исходная приемистость нагнетательных скважин без трещин автоГРП может быть слишком низкой и тогда стратегия заводнения с трещинами автоГРП может быть экономически эффективна. Таким образом, актуальной является задача проектирования эффективной системы ППД с учётом роста трещин автоГРП.

При моделировании процесса развития трещин автоГРП необходимо учитывать множество процессов: разрушение породы, движение жидкости в трещине, фильтрация жидкости в породе, движение жидкости в скважине и в системе ППД. В зависимости от решаемых задач некоторые процессы можно описать приближенно, ввести допущения, а некоторыми эффектами пренебречь. Существует подход для моделирования развития трещин автоГРП, где учитывается только фильтрация жидкости в породе и ее движение в трещине, то

*№ 75-9
от 25.05.2021*

есть пренебрегается изменением напряженного деформированного состояния в ходе развития трещины. Описание всех перечисленных процессов вместе может привести к созданию сложной модели, требующей высоких вычислительных и ресурсов и непригодной для использования инженерами на практике. В работе автора диссертации представлен подход, где учитываются фильтрация жидкости в породе и изменение напряженного деформированного на основе расчётов в симуляторах, а движение жидкости в трещине рассчитывается на основе аналитического решения. Этот подход позволяет учесть основные физические механизмы роста трещин автоГРП и использовать современные коммерческие симуляторы для создания и расчета моделей нефтегазовых месторождений.

Наличие в пласте естественных трещин может сильно повлиять на эффективность заводнения в низкопроницаемых коллекторах. Нагнетание жидкости в пласт может вызвать активацию естественных трещин. В этом случае быстрый прорыв воды в добывающие скважины может произойти не через техногенные трещины, а через естественным. В связи с этим актуальной является задача автора по разработке модели, описывающей поведение естественных трещин при заводнении низкопроницаемых коллекторов.

Научная новизна, результаты работы и их практическая ценность

Диссертантом была разработана физико-математическая модель развития трещин автоГРП на нагнетательных скважинах в нетрещиноватых коллекторах. Для построения модели используются численные фильтрационная и геомеханическая модели, а также аналитические уравнения роста трещины в длину и высоту. Разработанная физико-математическая модель позволяет определить оптимальное забойное давление нагнетательной скважины без риска прорыва индуцированных трещин гидроразрыва пласта в добывающие скважины.

На основе компьютерного моделирования с использованием предложенной физико-математической модели автором получены зависимости давления гидроразрыва пласта от полудлины трещины, показывающие наличие области устойчивого роста трещины автоГРП до критической полудлины трещины 100 метров. В случае спонтанного приращения в области устойчивого роста трещины

автоГРП повышения давления не приведет к неконтролируемому росту трещины автоГРП. Предложен алгоритм управления режимами работы нагнетательных скважин с целью снижения темпов обводнения и повышения КИН в низкопроницаемых залежах, а также предложены алгоритмы, которые позволяют спроектировать оптимальные системы разработки низкопроницаемых пластов с увеличением продуктивности скважин за счёт использования эффекта автоГРП. Модель была апробирована на пилотном участке одного из месторождений Западной Сибири.

С целью предотвращения ранних прорывов воды в добывающие скважины для условий трещиноватых пород была разработана физико-математическая модель активации естественных трещин в призабойной зоне на основе аналитической модели расчёта тензора напряжений, критерия Кулона-Мора и критерия прочности на предельное растягивающее напряжение. На основе анализа результатов математического моделирования предложен алгоритм управления режимами работы нагнетательных скважин с целью уменьшения обводнённости в низкопроницаемых трещиноватых залежах.

Результаты, представленные диссертантом, обладают научной и практической ценностью для решения поставленных научных задач.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Обоснованность основных научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, подтверждается анализом более ста пятидесяти актуальных источников по теме диссертации, теоретическими исследованиями, проведенными на современных программных комплексах для создания и расчета моделей нефтегазовых месторождений, опытно-производственными испытаниями разработанной технологии, а также новизна решений диссертационной работы подтверждена патентом РФ на изобретение.

Первое и второе защищаемые положения подтверждаются результатами математического моделирования и обоснованы во второй главе диссертации, а также в работах «Анализ эффективности заводнения низкопроницаемых

коллекторов нагнетательными горизонтальными скважинами с поперечными трещинами многостадийного ГРП» и «Case Study on waterflooding of low-permeability reservoirs by horizontal wells with water-injection induced fractures» в соавторстве с М.М. Хасановым, Е.В. Шелем, А.П. Рошкетевым и А.А. Гимазовым. Третье защищаемое положение обосновано в третьей главе. Помимо этого, в третьей главе, а также в работе «Моделирование инициации трещин в трещиноватом коллекторе в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах» показаны результаты расчётов, которые помогают определить диапазон значений забойного давления на нагнетательной скважине в условиях трещиноватых коллекторов для предотвращения активации естественных трещин.

В целом диссертация представляет собой законченную научную работу, ее содержание является логичным и последовательным. Диссертация оформлена качественно, рисунки и таблицы соответствуют их названиям и наглядно представляют соответствующую им информацию.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 5 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (SCOPUS и WoS); получен 1 патент РФ на изобретение.

Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Замечания по работе.

1. Размерность слагаемых в формуле (2.25) не согласована.
2. Не обсуждается наличие лага в конце трещины.
3. Для расчетов используется значение коэффициент Био $\alpha = 0.8$ (см. Таблицу 2.1). Почему взято именно это значение не объясняется. На самом деле

$$\alpha = 1 - \frac{K}{K_s},$$

где K - объемный модуль флюидонасыщенной среды в условиях дренажа, K_s - объемный модуль скелета.

Поскольку экспериментально можно найти только эффективные свойства пористого керна K , а измерить механические параметры скелета K_s невозможно, определение коэффициента Био не является тривиальным. Определить механические свойства скелета можно с помощью механики тел с большим числом трещин, зная пористость среды ϕ , как это сделано например в статье (Osipov et al., JPSE, 2020). Кстати нигде в диссертации я не обнаружил, какая пористость использовалась при расчетах. Похоже, что автор обошелся без нее.

4. стр 37, необходимо уточнить основные предположения и выводы модели Картера. Сейчас написано, что длина трещины пропорциональна квадратному корню из времени. В оригинальной статье идет речь про площадь поверхности трещины и там более сложная зависимость от времени. В связи с этим можно было бы предложить проверить это утверждение и добавить краткий вывод скорости утечек.

5. Секция 2.4. Приведены формулы, определяющие красную линию на рис 2.6. Касательно синей линии: «давление жидкости на кончике трещины растёт от забойного давления с коэффициентом, близким к 1».

Таким образом, давление в трещине однородное? Необходимо более детально пояснить оценку давления в кончике.

Уточнение: в отличие от главы 4 здесь не рассматривается рост трещины, т.е. длина задается перед запуском модели и она фиксирована?

6. формула 2.25, интересный результат, имеющий практическую ценность (как результаты данной работы можно использовать для других свойств пласта). Можно попросить привести какие-то дополнительные формулы или сослаться на уже написанные ранее, чтобы этот результат был более понятен.

7. Секция 4.2 необходимо пояснить, почему трещина с полудлиной 100 м является устойчивой (ссылки на иллюстрации из главы 2).

8. стр 92, рис 4.9, 4.10 «для различных временных шагов», необходимо подписать времена.

9. таблица 4.1 Полудлина трещин автоГРП 120м. В расчетах данная величина менялась, необходимо уточнить.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационной работы и могут рассматриваться как пожелания автору для дальнейших исследований в данном направлении. Диссертация аккуратно оформлена, все иллюстрации позволяют получить наглядное представление о численных результатах.

Заключение.

Диссертация Базырова И.Ш. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технологические разработки, направленные на повышение эффективности разработки низкопроницаемых коллекторов при их искусственном заводнении. Указанные в данном отзыве замечания не снижают общего научного уровня диссертации соискателя.

Диссертация «Контроль и регулирование роста техногенных трещин при вытеснении нефти из низкопроницаемых коллекторов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 19.12.2019 № 1755 адм, а ее автор Базыров Ильдар Шамилевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
руководитель лаборатории
многофазных систем, доцент
Центра добычи углеводородов

Осипцов Андрей
Александрович



АНО ВО «Сколковский институт
науки и технологий»

тел.: 7(495)2801481

e-mail: a.osiptsov@skoltech.ru

Дата: 17.05.2021 г.

Адрес места работы:

143026, г. Москва, ул. Нобеля, д. 3,

АНО ВО «Сколковский институт науки и технологий»

Тел.: 7(495)2801481; e-mail: info@skoltech.ru

Подпись сотрудника Осипцова А.А.

АНО ВО «Сколковский институт науки и технологий» удостоверяю:
руководитель/кадровый работник

Подпись Осипцова Андрея Александровича заверяю:

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ

